

高分子材料の摩擦摩耗に関する研究

著者	渡邊 真
号	695
発行年	1983
URL	http://hdl.handle.net/10097/11644

氏 名	渡 邊 真
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 59 年 1 月 11 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 35 年 3 月 東京都立大学理学部化学科卒業
学 位 論 文 題 目	高 分 子 材 料 の 摩 擦 摩 耗 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 玉井 康勝 東北大学教授 萱場 孝雄 東北大学教授 北條 英典 東北大学教授 松田 實

論 文 内 容 要 旨

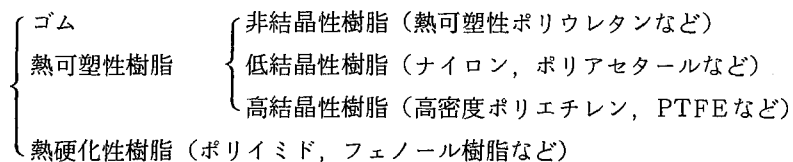
1. 緒 論

★ 研究目的と意義

- 最近機械材料として急速に使われるようになった高分子材料について、機械への応用に際して重要な性質の一つである摩擦摩耗挙動を明らかにし、その機構を解明することによって耐久性、信頼性の向上を図るための指針を得ることを目的としている。

★ 従来の研究とその問題点

- 高分子材料を便宜上つぎのように分類する。



- 乾燥状態の摩擦挙動や機構に関して多くの研究が行われたのはPTFEなど高結晶性樹脂と非結晶性で架線を持つゴムである。それ以外の樹脂の摩擦摩耗については明らかでない点が多い。
- 水中油中など液体中で摺動する場合も、個々の材料について摩擦摩耗挙動は部分的に知られてはいるが、速度や荷重など基本的因子の広範囲にわたる変化の影響、液体あるいは液体中の添加物と摩擦面との相互作用の影響などについては明らかでない。

☆ 本研究の特色と構成

- 本研究は乾燥状態、水潤滑状態、油潤滑状態の三つの状態に分け、それぞれの状態において数種類の高分子材料の摩擦摩耗に対する、すべり速度、荷重、相手面あらさなどの基本的因子や液体中の添加物など諸要因の影響を調べた。また表面観察などを通じて高分子材料の総合的な摩擦摩耗機構の解明を行った。

2. 摩擦摩耗測定装置と実験方法

- 乾燥状態および水潤滑状態での摩擦摩耗試験機 一円筒端面型
油潤滑状態での摩擦摩耗試験機—Falex 1 型
両試験機の概要を表 1 に示す。
摩耗量の検出一円筒端面型では摩擦痕深さを、Falex 1 型では摩耗痕巾を表面あらさ計や光切断式深さ計で測定。
摩擦力の測定—歪計式荷重計により測定記録
温度の測定—金属試験片中にそう入した熱電対による。
- 試験材料—使用した高分子材料は表 2 に示す。相手金属材料は乾燥状態では軟鋼（S 10 C）、水中ではステンレス鋼（SUS 304）、油中では鋼（SAE 4620）。

表 1. 使用した主な試験機の概要

試 験 機 名	すべり速度，荷重範囲	特 徴
円筒端面型摩擦摩耗試験機	速 度 0.01 ～ 200 cm / s 荷 重 0.5 ～ 300 kg	低速から高速まで広範囲の摩擦が可能
Falex -1 摩擦摩耗試験機	速 度 2 ～ 200 cm / s 荷 重 0 ～ 300 kg	油中での微量の摩耗測定に適す

材 料	特 徴	乾燥状態	水潤滑	油潤滑
熱 可 塑 性 ポ リ ウ レ タ ン	非結晶性の熱可塑性樹脂	○	—	—
ナ イ ロ ン 6	低結晶性の熱可塑性樹脂	○	○	○
高密度ポリエチレン	高結晶性の熱可塑性樹脂	○	○	○
ポ リ イ ミ ド	耐熱性耐摩耗性の熱硬化性樹脂	○	—	—
フェノール樹脂 帆布積層品	水潤滑性にすぐれた熱硬化性樹脂	—	○	○

表 2 使用した高分子材料の種類

材 料	特 徴	乾燥状態	水潤滑	油潤滑
PTFE +ガラス繊維(15.25%) (10μmφ短繊維ラ ンダム充てん) +カーボン繊維(10%) (10μmφ短繊維ラ ンダム充てん) +グラファイト(25%) +銅粉(60%) +ガラス繊維(15%) +二硫化モリブデン (5%)	耐食性，低摩擦性の熱可塑性樹脂複合材	—	○	—
ポ リ ア セ タ ー ル	油潤滑性にすぐれた熱可塑性樹脂	—	—	○

○印は実験を行ったもの

3. 乾燥状態での摩擦摩耗

★ すでに知られている事項

- 平滑な固体面同士の摩擦力(F)は主として固体面間で真に接触している部分の面積(A)とその部分のせん断強さ(S)の積 ($F = AS$) できまる。
- 高分子材料の摩擦面におけるせん断の形態は次の6種類に分類される。
 - (1)表面薄層形成型, (2)界面せん断型, (3)ロール形成型, (4)軟化溶解型, (5)熱分解型, (6)局部破断型
- ゴムおよび高結晶性樹脂の摩擦の特徴は次の通りである。
 - (イ) ゴムも結晶性樹脂も各温度における摩擦係数の速度依存性の曲線を速度軸に沿って移動させることによって一本の合成曲線を形成することができる。
 - (ロ) ゴムでは摩擦係数の速度依存性に大きな極大を生じるが、高結晶性樹脂ではそれが顕著でない。

★ 本研究で明らかになった事項

- ゴムと高結晶性樹脂の中間的存在といえる低結晶性樹脂ナイロンでは各温度における速度依存性を速度軸に沿って移動させても合成曲線は作れず、また表面観察の結果低速(0.01cm/s)では表面に流動が生じる(薄層形成型)がやや高速(1cm/s)では流動が起らないことがわかった。
- ナイロンの摩擦機構として内部でのせん断強さと摩擦界面でのせん断強さの速度依存性のちがいにより、低速では内部でせん断が起り、やや高速では界面でせん断が起るというモデルを示した。速度によってせん断の形態が変化するので摩擦係数の合成曲線は作れない。
- 表面薄層形成型の高結晶性樹脂(高密度ポリエチレン)でも分子間に架橋を生じさせた場合にはゴムと同様に温度上昇に対して摩擦が極大を示すようになる。
- 非結晶性樹脂(ポリウレタン)は架橋を持たないがゴムと同様の挙動を示す。
- 熱可塑性樹脂の比摩耗量の速度や荷重による変化は主として摩擦熱による温度の変化に依存する。また温度変化は摩擦係数(μ), 面圧(p), 速度(v)の積で表わせるので実用条件での比摩耗量と $\mu p v$ の関係式を求めることができた。
- ポリイミドの摩擦係数の温度依存性は1回目の温度上昇では400℃付近で黒色の変質層を生じて摩擦が低下するが、2回目の温度上昇では200℃付近から低下することがわかった。
- ポリイミドおよび、摩擦面での変質層を熱重量分析を行った結果、1回目と2回目の温度上昇で摩擦低下温度が異なるのはポリイミドと変質層の熱分解温度が異なるためであることがわかった。

4. 水潤滑状態における摩擦摩耗

★ すでに知られている事項

水中での潤滑状態は境界潤滑、流体潤滑および両者が混合した混合潤滑の三つの領域に分けられる。混合潤滑領域では速度の増加、荷重の低下、表面あらさの低下によって摩擦摩耗は低

下する。

★ 本研究で明らかになった事項

- 水中における摩擦摩耗実験と表面観察の結果、次のいくつかの挙動とその機構が明らかになった。

(イ) 純水中でポリエチレンなどとステンレス鋼とを摩擦させた場合、混合潤滑の状態にあると考えると、荷重増加に対して単調に増加すると考えられる比摩耗量の荷重依存性の曲線に極大極小があらわれる場合がある。

その機構—荷重がある範囲まで増加すると摩耗粉の付着によって相手面あらしが減少し、流体潤滑部分が増加して比摩耗量が減少する。さらに荷重を増加すると摩擦面の溶融などによって摩耗粉が離脱し、ふたたびあらしが大きくなって流体潤滑部が減少するため、また摩耗は増加する。

(ロ) ガラスの繊維を充てんした PTFE はグラファイトなど他の材料を充てんした PTFE に比べ、水中での摩耗が著しく多い。

その機構—水中ではガラス繊維は空気中より強度が低下するため、摩擦によって微粉化し、相手面に付着して表面を粗化するため。

(ハ) 水に微量の塩化鉄（1 / 100 % wt 程度）を加えた溶液中では高密度ポリエチレンの摩擦摩耗が著しく増加する。

その機構—特定濃度および pH の領域で水酸化鉄などの沈でんを生じるが、それと類似の物質が相手面に移着したポリエチレン層の摩擦による酸化部分などに沈着し、相手金属面のあらしを増加させるため。

5. 油潤滑状態における摩擦摩耗

★ これまで知られている事項

- 本実験の摩擦条件である混合潤滑状態での挙動は水潤滑状態の場合と同様である。
- 油中での高分子の摩擦摩耗に関する報告は非常に少ない。

★ 本研究で明らかになった事項

- 油中における摩擦摩耗実験と表面観察の結果、次の二つの挙動が明らかになった。

(イ) 流動パラフィン中での各種樹脂の摩擦摩耗の相手面あらし依存性において、ポリアセタールとフェノール樹脂では依存性が大きく、ナイロンと高密度ポリエチレンでは依存度が小さい。

その機構—表面観察の結果ではポリアセタールとフェノール樹脂の摩耗後の面はナイロンと高密度ポリエチレンに比べてあらしが小さい。従って前二者は後二者に比べて相手面あらしの変化による流体潤滑性の変化をうけやすいため。

(ロ) 極圧剤を添加した油中では流動パラフィン中に比べてポリアセタールとフェノール樹脂では摩擦摩耗が減少するがナイロン、高密度ポリエチレンでは変化がない。

その機構—極圧剤添加油中では摩耗粉が小さいものが多くなり、相手金属面に移着してあ

らさ依存性が大きいのでその影響が顕著にあらわれるため。

6. 結 論

★ 乾燥状態における摩擦摩耗

- (1) 熱可塑性樹脂の中で低結晶性であるナイロンなどを中心に摩擦摩耗挙動を調べた結果、摩擦の温度依存性に見られる極大の大きさが、すべり速度の低下とともに低下する点など、従来知られているゴムや高結晶性樹脂の摩擦挙動とは異なることがわかった。
- (2) ナイロンの摩擦摩耗挙動や表面観察結果をもとに低結晶性樹脂の摩擦機構として、すべり速度によるせん断型の変化を考慮したモデルを提示した。
- (3) 熱可塑性樹脂の比摩耗量の速度および荷重依存性は、主として摩擦による温度依存性によるものであることを明らかにし、実用条件での比摩耗量と μPV の間の関係式を求めた。
- (4) 熱硬化性樹脂ポリイミドの摩擦機構が熱分解型であることを示し、摩擦係数の特徴的な温度依存性は、ポリイミドとその変質層の熱分解温度のちがいによることを明らかにした。

★ 水潤滑状態における摩擦摩耗

- (1) 水および水溶液中での高分子の摩擦摩耗について検討した結果、つぎのような、いくつかの従来知られていない挙動を見出した。
 - (イ) 水中での樹脂の比摩耗量の荷重依存性に極大極小があらわれる挙動。
 - (ロ) ガラス繊維充てんPTFEの水中での顕著な摩耗増加。
 - (ハ) 塩化鉄などの水溶液中における高密度ポリエチレンの異常摩耗。
- (2) これらの挙動は、主として摩擦中の相手金属面の状態変化にもとづく流体潤滑性の変化によるものであることを明らかにした。

★ 油潤滑状態における摩擦摩耗

- (1) 流動パラフィンおよび極圧剤添加油中で高分子の摩擦摩耗について検討した結果、つぎのような挙動を見出した。
 - (イ) 比摩耗量の相手面あらさ依存性の著しい樹脂は極圧剤の添加によって摩耗が減少する。
 - (ロ) 相手面あらさ依存性の著しい樹脂は極圧剤の添加によって摩耗が減少する。
- (2) これらの挙動も摩擦中の表面の状態変化にもとづく流体潤滑性の変化によるものであることを明らかにした。

審 査 結 果 の 要 旨

最近の高分子材料の急速な進歩にともない多くの分野で金属材料やセラミック材料と入替っているが、高分子材料の機能のうち重要な性質の一つが摩擦摩耗特性である。本論文はこれまでの研究で不十分であった広範囲の摩擦条件での挙動や各種の潤滑条件の影響を明らかにし、その機構を解明することによって高分子材料の適正な利用指針を得ることを目的としたもので、全文6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章は摩擦摩耗測定装置と実験方法について述べたもので、高分子材料は温度の影響を受けやすいこと、測定では摩擦熱の発生を常に考慮すべきことを注意し、試作した円筒端面型摩擦試験機、その他の使用試験機について説明している。供試材料に熱可塑性で非結晶性のポリウレタン、低結晶性のナイロン、高結晶性のポリエチレン、熱硬化性のポリイミドなどを取り、実験条件の温度、荷重、すべり速度は広範囲に変化させている。

第3章は乾燥状態における摩擦摩耗の研究結果である。摩擦は金属と同様に接触部分のずり抵抗として生ずるが、その形態は温度、荷重、すべり速度がそれぞれ低い場合と高い場合で大きく異なり、熱可塑性高分子材料では前者は摩擦により分子配向した薄層内で、後者は軟化溶融層内でずりが起り、熱硬化性高分子材料では前者は接点の破断、後者は熱分解変質層内のずりによる。しかし熱可塑性でも非結晶性のものは低温側では接点破断型であり、これらの形態の遷移は分子的性状の特徴から説明される。また摩耗も摩擦機構からその特性を導きうることが示されている。

第4章は水潤滑状態における摩擦摩耗の研究で、ポリエチレン、ナイロン等について摩擦条件の影響や、水への界面活性剤、無機塩の添加効果などを調べ、疎水性のポリエチレンなどは界面活性剤によって親水化し水の潤滑効果を大にすること、ナイロンなどでは表面に付着した汚染油分が水潤滑で除去され逆に摩擦を大にすることなどを明らかにし、摩耗についても高分子材料が水で膨潤し軟化する場合、摩耗が大となることを認めている。

第5章は油潤滑状態における摩擦摩耗に関するもので、油として流動パラフィンを用い摩擦条件の影響、添加剤の効果などを調べている。鋼と高分子材料の組合せでは極圧添加剤が鋼表面を平滑化して摩擦摩耗を下げる効果が認められた。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は代表的高分子材料を選び、温度、荷重、すべり速度を広く変え乾燥状態、水および油潤滑下でそれぞれの摩擦摩耗とその機構を解明し、従来研究の少なかった材料や潤滑について多くの新知見を加えたもので、高分子工学、潤滑工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。